

# Estudio de la fracturación en el sector meridional de Sierra Almjara (provincia de Málaga)

## *Study of fracturing in the southern sector of Sierra Almjara (province of Málaga)*

I. Pérez Ramos <sup>(1)</sup>, S. Pistre <sup>(2)</sup>, B. Andreo <sup>(1)</sup> y C. Sanz de Galdeano <sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Departamento de Geología. Facultad de Ciencias. Universidad de Málaga. Campus de Teatinos, s/n. 29071. Málaga (España). isaacperez@uma.es

<sup>(2)</sup> Laboratoire Hydrosclences. Maison des Sciences de l'Eau. Université Montpellier II. 34095. Montpellier (France). pistre@msem.univ-montp2.fr

<sup>(3)</sup> Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (C.S.I.C. – Univ. Granada). Fac. de Ciencias. 18071 Granada (España). csanz@ugr.es

### ABSTRACT

*By means of a photointerpretation study, the main fault sets have been determined in the Sierra Almjara, in the Betic Cordillera. The more frequent directions are N20-40E, N50-70E, N90-100E, N120-140E and N140-160E. They are consistent with some of the main stress fields occurred in the Betic Cordillera. The paleostresses responsible of fracturing have been inferred from regional and field data. Many of the movements of these faults occurred since de late Tortonian, during a very important uplifting of the Betic Range, up to the Quaternary.*

**Key words:** Betic Cordillera, fracturing, paleostresses, Sierra Almjara.

*Geogaceta, 37 (2005), 7-10*

*ISSN: 0213683x*

### Introducción

El área estudiada forma parte del macizo de Sierra Almjara (Fig. 1), en el extremo oriental de la provincia de Málaga. La región posee una orografía muy abrupta, con altitudes relativamente elevadas a pocos kilómetros de la costa.

La geología del sector ha sido estudiada en varios trabajos previos (Boulin, 1970; Elorza y García-Dueñas, 1980; Avidad y García-Dueñas, 1981; Sanz de Galdeano y López Garrido, 2003). Sierra Almjara pertenece al complejo Alpujárride de la Cordillera Bética, concretamente a la Unidad de la Herradura (Elorza y García-Dueñas, 1980; Avidad y García-Dueñas, 1981), o Unidad de Almjara, según la terminología introducida por Sanz de Galdeano y López Garrido (2003). Desde un punto de vista litológico, dicha unidad está constituida, en su base, por una potente sucesión metapelítica y, sobre ésta, un paquete de mármoles dolomíticos y calizos de más de 500 m de espesor.

Entre los primeros trabajos sobre fracturación realizados en este sector cabe citar el de Sanz de Galdeano (1993), en el entorno de la Cueva de Nerja. En él se estudiaron algunas fallas y se dedujo la posición de los esfuerzos que han tenido lugar. El autor también realizó un análisis de las diaclasas, en el que obtuvo un

máximo muy marcado según la dirección NNW-SSE, junto con otros de menor intensidad según NNE-SSW y E-W.

Durán Valseo *et al.* (1998) estudiaron los lineamientos del sector de Sierra Almjara a partir de imágenes de satélite y obtuvieron una dirección principal N-S a NNE-SSW y unos máximos secundarios NW-SE y ENE-WSW que corresponden a ejes de pliegues y fallas de gran tamaño.

Soto y Manzano (2002) trabajaron en la falla del Río de la Miel, una de las más importantes de las que limitan Sierra Almjara por el sur, con una dirección media N130E. Para esta falla dedujeron movimientos normal-dextrorsos seguidos de desgarres tanto dextrorsos como sinistrorsos.

Gumiel *et al.* (2002) estudiaron la falla de Maro, para la cual determinaron un desplazamiento normal-dextrorso.

Pérez Ramos *et al.* (2004) estudiaron la falla del Río de la Miel y dedujeron que los primeros movimientos de esta falla consistieron en desgarres de tipo dextrorso, seguidos de desplazamientos normales a normal-dextrorsos.

### Metodología y resultados

El estudio de la fracturación se ha realizado a partir de fotografías aéreas, a escala 1:10000. El método usado para obte-

ner el mapa de fracturación (Fig. 2) ha consistido en la utilización de ortofotografías ya digitalizadas y georreferenciadas, de manera que pudieran manejarse mediante un sistema de información geográfica (Arcview). Las trazas de las fallas se pueden introducir directamente en el programa por medio de herramientas de dibujo integradas en el mismo, lo cual facilita su posterior tratamiento.

Para intentar clarificar el tipo de movimiento que han experimentado los juegos de fracturas determinados con las fotografías, se recurrió a medidas de campo. Sólo se han tenido en cuenta aquellas fallas en las que fue posible averiguar el sentido de movimiento, razón por la cual el número de estas medidas es relativamente bajo, sobre todo si se considera cada estación por separado. Los resultados de campo han sido utilizados sólo como apoyo para la interpretación de la fracturación a escala de fotografía aérea.

### Fracturación sobre fotografía aérea

La población total de fallas que se ha identificado asciende a 8523. En el mapa de fracturación del área de estudio (Fig. 2) aparece un diagrama total de orientaciones y 7 adicionales en los que el análisis se ha llevado a cabo por sectores, delimitados con línea discontinua.

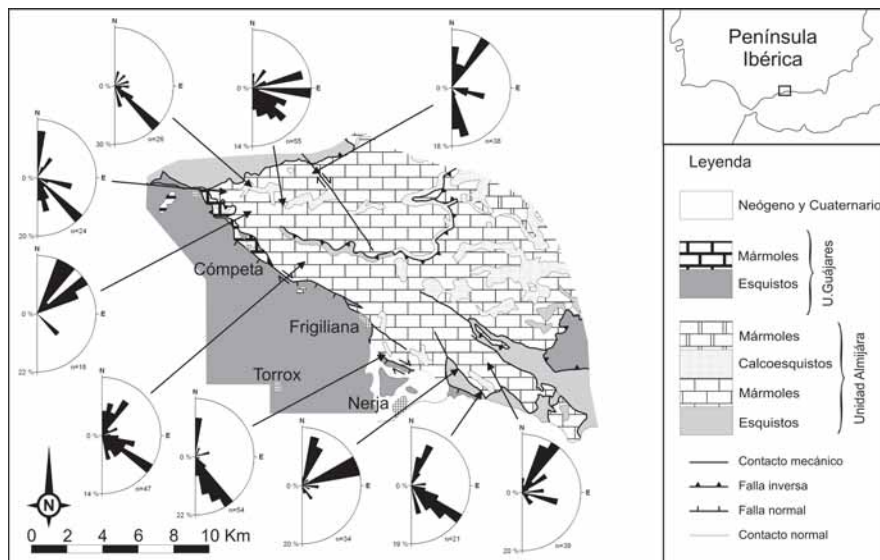


Fig. 1.- Localización geográfica del área de estudio y de las estaciones con medidas de campo.

Fig. 1.- Geographic location of the study area and stations with field data.

En el diagrama total de orientaciones se observa un gran abanico de direcciones entre N90E y N160E, aparentemente muy importante. Los diagramas por sectores permiten distinguir tres máximos dentro de este intervalo muy cercanos entre sí: N90-100E, N120-140E y N140-160E. Estos se superponen parcialmente, de manera que es difícil separarlos cuando se utiliza el conjunto de las fallas. Algo parecido ocurre en torno a la dirección N50E. En este caso se han distinguido dos juegos de fracturas, uno N20-40E y otro N50-70E. Localmente parecen tener cierta importancia fallas N0-10E, sobre todo en la parte norte del área de estudio.

Algunas de las direcciones obtenidas son similares a las determinadas en otros sectores de la Cordillera Bética, como Sierra Gorda de Loja (López-Chicano, 1992), Sierras Blanca y Mijas (Andreo *et al.*, 1997) o Sierra de las Nieves (Pistre *et al.*, 1998). De hecho, los sistemas más importantes coinciden con las direcciones principales de fracturación a nivel de toda la cordillera (Sanz de Galdeano, 1983).

#### Medidas de campo

La ubicación y resultados de las estaciones de campo se muestran en la figura 1. Dichas estaciones no están repartidas de forma homogénea sobre el terreno debido a la calidad de los afloramientos, por lo que no deben considerarse como totalmente representativas de la fracturación a escala mesotectónica, sino más bien orientativas.

En la figura 3e se observa como las direcciones principales de fracturación son aproximadamente coincidentes con

las de la foto aérea, salvo el máximo N0-10E de los datos de campo, bastante bien definido, que no tiene la misma importancia a escala de fotografía aérea. Con el sistema N90-100E ocurre lo contrario, es decir, se aprecia mejor en la foto aérea que a escala de afloramiento. Parece que existe una pequeña rotación horaria (unos 10° en general) de las direcciones obtenidas en campo respecto a las de las fotografías. Esto podría deberse a que las medidas de campo son muy inferiores en número a las medidas sobre las fotografías y a la representatividad de las estaciones.

En la figura 3 se han separado las fallas según el sentido de movimiento deducido. Se puede observar como las fallas normales (Fig. 3a) son principalmente N20-40E y N120-140, junto con algunas N0-10E, N90-100E y N160-170E. Las fallas inversas (Fig. 3b) presentan una dirección predominante N60-80E y un pequeño máximo según N130-150E. En el caso de las fallas dextrorsas (Fig. 3c), las orientaciones principales son N100-110E, N130-150E y N160-170E. Las fallas sinistras (Fig. 3d) tienen como direcciones principales N0-10E y N30-40E.

#### Interpretación de los resultados

Sierra Almijara posee una historia tectónica compleja. La etapa de deformación más importante correspondió a la estructuración en mantos de la Zona Interna de la Cordillera Bética, fundamentalmente durante el Mioceno inferior (Sanz de Galdeano, 1990). La red de frac-

turas que se ha estudiado en este trabajo es posterior, pues corta a las estructuras generadas durante la estructuración de la cadena.

En el área de estudio existen indicios de fracturación pre-tortoniana. El juego de fallas N90-100E podría ser el resultado de una compresión WNW-ESE ocurrida durante el Mioceno medio (Sanz de Galdeano, 1990), en cuyo caso debería haber producido movimientos dextrorsos de las fallas. El funcionamiento principalmente dextrorso de las fallas N100-110E (Fig. 3c), cuya dirección es muy próxima a las N90-100E de la fotointerpretación, es compatible con esta afirmación. La misma compresión podría haber generado también, al menos en parte, las fallas N140-160E como fallas sinistrorsas (Benavente y Sanz de Galdeano, 1985).

En el Tortoniano superior la dirección anterior de compresión WNW-ESE pasa a ser NNW-SSE (Ott d'Estevou y Montenat, 1985). En este momento cesa la traslación de las Zonas Internas de la Cordillera Bética hacia el oeste y toma importancia la compresión aproximadamente N-S ejercida entre las placas Africana y Euroasiática. Asociada a este movimiento se constata, de forma más o menos coetánea, una extensión NE-SW (Galindo-Zaldívar *et al.*, 1993; Sanz de Galdeano y López-Garrido, 2000).

La situación general de compresión pudo producir la formación y/o reactivación de los sistemas de fallas N140-160E y N120-140E, como fallas de desgarre dextrorso principalmente. Las posibles variaciones del máximo esfuerzo compresivo entre posiciones N-S y NW-SE permitiría que se generaran dos juegos próximos en vez de uno sólo, aspecto éste ya descrito anteriormente en el ámbito de la Cordillera Bética (Benavente y Sanz de Galdeano, 1985). Los datos de orientaciones de fallas de las estaciones de campo son congruentes con la hipótesis anterior, pues muestran que el conjunto de fracturas comprendidas entre N130E y N170E son en muchos casos de tipo dextrorso y forman un abanico continuo entre ambas direcciones, que reflejaría las variaciones en la dirección del eje principal de compresión. Los juegos N50-70E, N20-40E y N0-10E determinados a partir de la fotointerpretación también podrían asociarse a esta etapa compresiva. Las direcciones de fracturación medidas en campo que más se aproximan a las anteriores indican que las fallas N60-80E suelen ser de tipo inverso (Fig. 3b), mientras que las N30-40E y N0-10E parecen ser sinistras en un por-

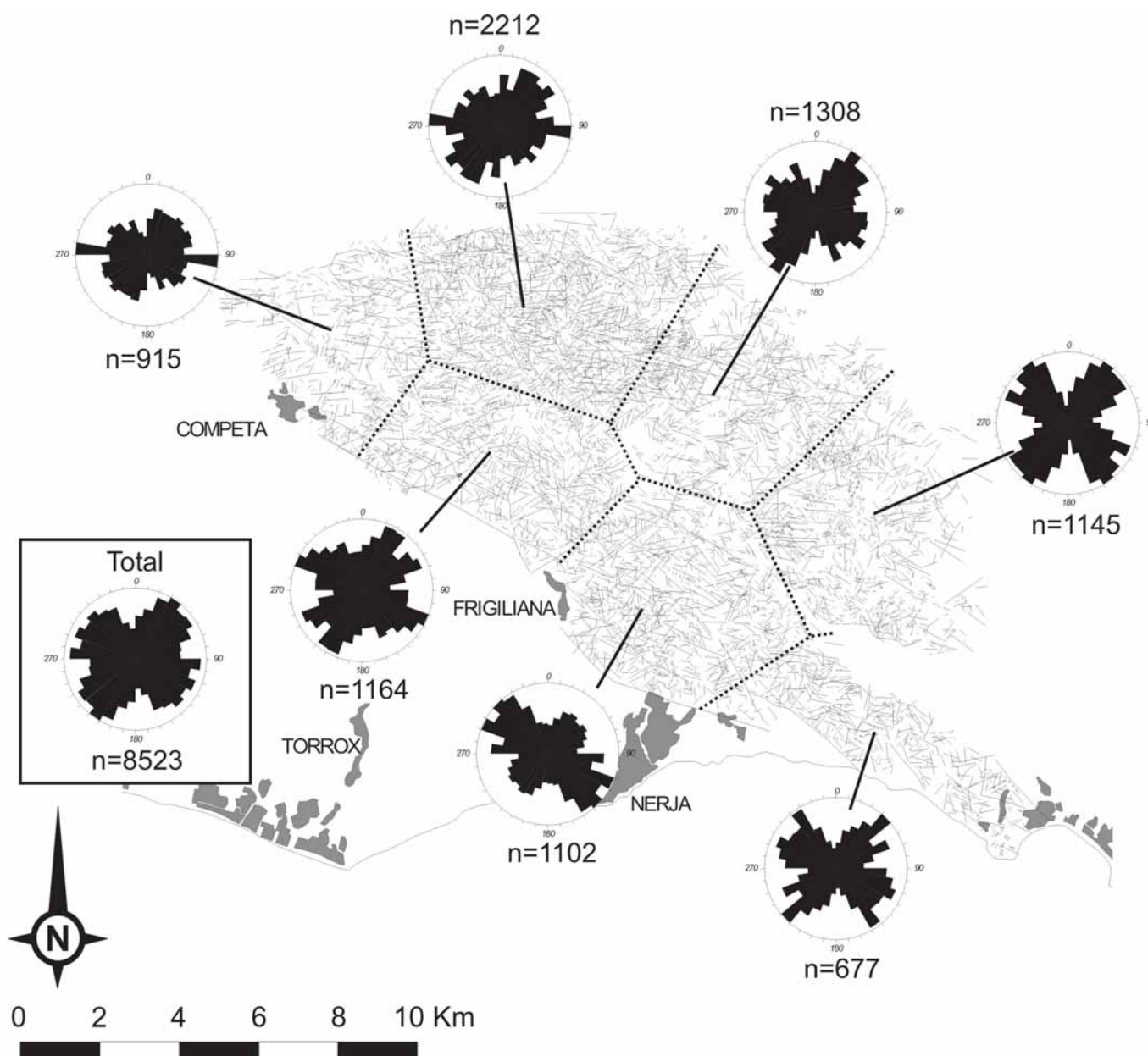


Fig. 2.- Mapa de fracturación del área de estudio. En línea discontinua se marcan los límites de los sectores donde el análisis se ha realizado por separado.

Fig. 2.- Fracturing map of the study area. In dashed lines are marked the limit of sectors where analysis were done separately.

centaje significativo de casos (Fig. 3d) y, por lo tanto, compatibles con una compresión NNW-SSE.

En Sierra Almijara, la extensión NE-SW se produjo en muchas ocasiones a través de las mismas fallas N120-140E y N140-160E, las cuales habrían funcionado por tanto como normal-dextrorsas al incluir la componente compresiva NNW-SSE. Los datos de las estaciones de campo indican la posibilidad de que las fallas N90-100E actuaran también como normales en esta etapa, debido quizás a que su orientación es relativamente favorable al movimiento en el

sentido de la extensión. En la falla del Río de la Miel, de dirección aproximada N130E, se observa, además, que la extensión NE-SW es posterior a la compresión NNW-SSE (Pérez Ramos *et al.*, 2004), aunque parece haber existido coevidencia en algún momento, según se dedujo del análisis de las estrías sobre el plano de falla.

Al noreste de Sierra Almijara afloran materiales del Tortonense superior, mayoritariamente calcarenitas, cortados por fallas normales NW-SE y E-W que parecen corresponder a la fase distensiva anterior, lo que indica que sus movimien-

tos más importantes pudieron comenzar a finales del Tortonense o inicios del Mesiniense y se prolongaron, probablemente, hasta el Pleistoceno (Lhénaff, 1965).

### Conclusiones

Los juegos de fallas más importantes obtenidos en el sector suroccidental de Sierra Almijara son N20-40E, N50-70E, N90-100E, N120-140E y N140-160E. Se puede citar un último juego, de importancia aparentemente local, cuya dirección es N0-10E.



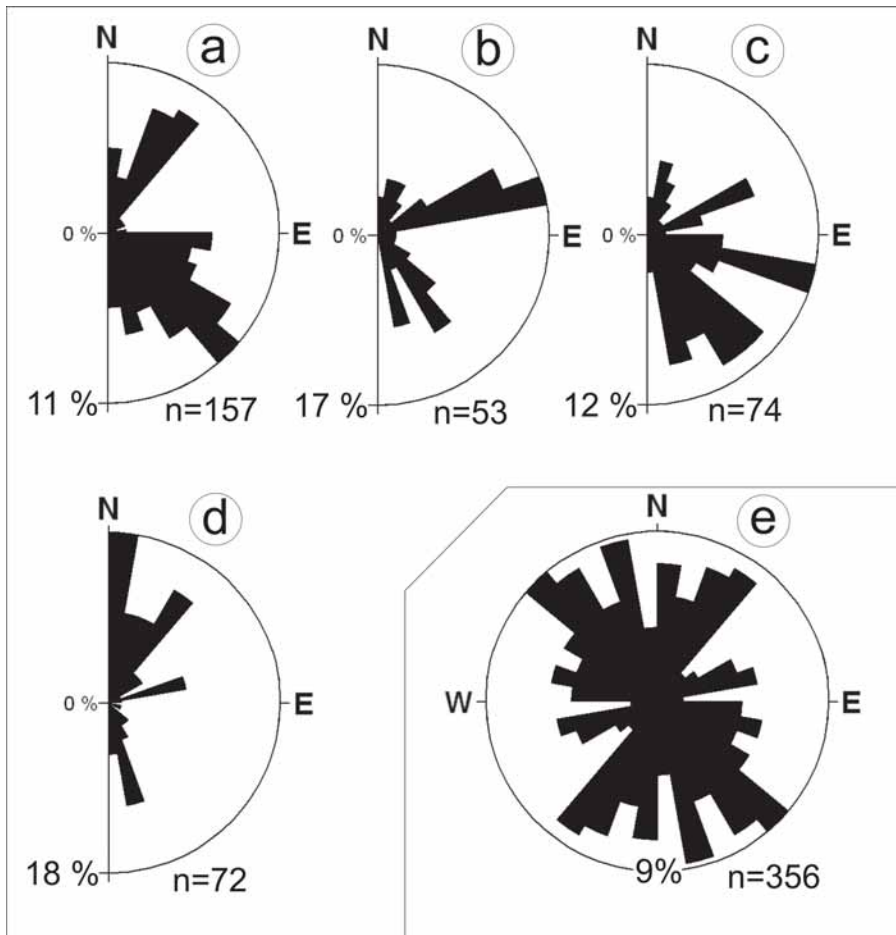


Fig. 3.- Diagramas de rosa de los vientos del conjunto de estaciones microtectónicas: a) fallas normales; b) fallas inversas; c) fallas dextrorsas; d) fallas sinistrorsas; e) total.

Fig. 3.- Rose diagrams of the whole microtectonic stations: a) normal faults; b) reverse faults; c) dextral faults; d) sinistral faults; e) total.

Las fallas más antiguas parecen ser las N90-100E, formadas durante la compresión WNW-ESE durante el Mioceno medio. Estas fallas habrían funcionado con movimiento dextrorso. Las fracturas N140-160E también pudieron haberse generado en esta fase, las cuales debieron haber actuado como juego conjugado del anterior, es decir, sinistrorsas.

El cambio en la orientación de los esfuerzos ocurrido en el Tortoniense superior pudo producir la formación y/o reactivación de los juegos N120-140E y N140-160E como fallas de desgarre dextrorsas y las N20-40E y N0-10E como sinistrorsas, así como las N50-70E, que en este caso serían inversas.

Por último, la extensión asociada a la compresión tortoniense produce el

movimiento de las fallas N120-140E, N140-160E y N90-100E como normales.

#### Agradecimientos

Este trabajo es una contribución al proyecto «Estudio regional del karst de Almirajara», financiado por la Fundación Cueva de Nerja, así como al Grupo de Investigación 308 de la Junta de Andalucía.

#### Referencias

Andreo, B.; Carrasco, F. y Sanz de Galdeano, C. (1997) *Environmental Geology* 30, 163-173.  
Avidad, J. y García Dueñas, V. (1981)

*Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 1055 (Motril). I.G.M.E.*

Benavente, J. y Sanz de Galdeano, C. (1985) *Estudios Geológicos* 41, 177-188.

Boulin, J. (1970) *Les Zones Internes des Cordillères Bétiques de Málaga à Motril (Espagne méridionale)*. Tesis Doctoral, Univ. de Paris 10, 237 p.

Durán, J.J., López Martínez, J., Sanz de Galdeano, C., Gumiel, P., Carrasco, F., González Casado, J.M. y Andreo, B. (1998) *Speleochronos, hors série*, 71-74.

Elorza, J.J. y García Dueñas, V. (1980) *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 1054 (Vélez-Málaga I.G.M.E.)*

Galindo-Zaldívar, J., González-Lodeiro, F. y Jabaloy, A. (1993) *Tectonophysics* 227, 105-126.

Gumiel, P., Giner Robles, J.L. y González Casado, J.M. (2002) *Geogaceta* 31, 201-204.

Lhénaff, R. (1965) *Revue de Géographie Physique et de Géologie Dynamique* (2), 7, 3, 205-207.

López Chicano, M. (1992) *Hidrogeología del acuífero kárstico de Sierra Gorda*. Tesis Doctoral, Univ. de Granada, 429 p.

Ott d'Estevou, P. y Montenat, C. (1985) *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences* 300, II (8), 363-368.

Pérez Ramos, I., Sanz de Galdeano, C., Andreo, B. y Pistre, S. (2004) *Geogaceta* 36, 55-58.

Pistre, S., Liñán, C., Andreo, B., Carrasco, F. y Drogue, C. (1998) *Speleochronos, hors série*, 141-144.

Sanz de Galdeano, C. (1983) *Estudios Geológicos* 39, 157-165.

Sanz de Galdeano, C. (1990) *Tectonophysics* 172, 107-119.

Sanz de Galdeano, C. (1993) En: *Geología de la Cueva de Nerja* (F. Carrasco ed.) 3: 95-114.

Sanz de Galdeano, C. y López Garrido, A.C. (2000) *Revista de la Sociedad Geológica de España* 13, (3-4): 519-528.

Sanz de Galdeano, C. y López-Garrido, A.C. (2003) *Revista de la Sociedad Geológica de España* 16, 135-149.

Soto, J.I. y Manzano, F.J. (2002) *Geogaceta* 31, 139-142.